

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_密级\_\_\_\_

学号: 18220051301702

UDC\_\_\_\_

厦门大学

硕 士 学 位 论 文

机床结构动态设计与优化

关键技术研究与应用

Research and Application on Key Technologies of Structural  
Dynamic Design and Optimization of Machine Tool

颜 华 生

指导教师姓名: 侯 亮 教授

专 业 名 称: 机械电子工程

论文提交日期: 2008 年 5 月

论文答辩时间: 2008 年 月

学位授予日期: 2008 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2008 年 6 月

厦门大学博硕士论文摘要库

# 厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

2008 年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

# 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1、保密（ ），在            年解密后适用本授权书。

2、不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名：

日期：      年    月    日

导师签名：

日期：      年    月    日

厦门大学博硕士论文摘要库

## 摘 要

随着现代制造技术向高精度、高效率、自动化、信息化和微小化发展，对现代数控机床的要求越来越高。目前我国数控机床的动态优化设计水平落后，不能及时设计出高性能机床响应市场需求。为了提高机床动态性能指标及设计的效率，本文在分析机械结构静、动态分析原理及机床动态设计原理的基础上，提出一种基于模块化思想、有限元分析与智能优化相结合的机床结构创新和优化设计方法。

首先，根据机床结构的分级特性将其划分为机床大件模块、虚拟模块等，机床的动态性能和创新取决于这些机床基本组成结构的性能和特征，并提出基于虚拟模块技术的机床大件动态设计与复合优化方法，主要包括基于 BP-GA 机床大件框结构关键尺寸复合优化和基于虚拟模块化设计的机床大件局部特征优化设计两部分内容。

然后以某立式加工中心的立柱与主轴箱复合优化为例，论述了基于人工神经网络和遗传算法的机床大件框结构关键尺寸复合优化方法，给出了大件模块结构的尺寸优化设计变量的自动搜索寻优计算方法及整机部件间的协调优化方法，实现部件间关键尺寸的快速协调优化，提高产品的性能和设计效率。

接着阐述了在大件框结构尺寸确定情况下，基于虚拟模块化设计的机床大件局部特征优化设计原理。在分析加工中心布局的基础上，利用有限元分析软件软件 Hypermesh 和 ANSYS 对各主要部件及整机进行静、动态特性分析，提出基于虚拟模块的机床大件结构动态优化设计方法，研究了筋格元结构和框结构工艺孔对大件性能的影响，并给出五面体加工中心方箱和工作台的优化案例，说明该方法的有效性。

并以五面体加工中心的铣头体为例，对机床主轴系统热特性进行了初步研究。最后总结了全文的主要结论，得出一些有益的结论，并提出了进一步研究的设想。

**关键词：**机床；动态设计；复合优化；模块化；有限元

厦门大学博硕士论文摘要库



## ABSTRACT

With the development of modern manufacturing technology in high-precision, efficiency, automation, informatization and microminiaturization, nowadays the design of NC machine tool should consider various requirements correspondingly. However, owing to the lag of dynamic optimal design application, NC machine tool can't be always designed flexibly in response to market requirement in time. Aiming at the problem, this thesis presents the structure innovation and optimization design method of machine, which combines the modularization idea, FEA and intelligence optimization. And the research work is done to improve the dynamic characteristics and design efficiency of NC machine tool, based on the principle of static/dynamic property analysis and dynamic design for mechanical structure.

The main work can be described as follows:

First, the method of dynamic design and composite optimization of large parts using virtual modular technology are proposed. It mainly consists of two parts, the complex optimization of key dimension of large parts framework based on the BP-GA and the optimization design of partial character of machine tool structural elements based on the virtual modular design. Here, NC machine tool is divided into large parts module and virtual modular etc, according to the classification characteristics of machine structure. So the dynamic performance and innovation depend on the performance and features of these basic modules.

Second, the example of complex optimization of the column and spindle box in a vertical CNC center is given. This section discusses the complex optimization method of key dimension of large part framework based on the ANN and the GA, and puts forward two means respectively, one is automatic search and optimizing calculation method for variables in optimized dimension design of large parts module, the other is coordination and optimization method for whole machine parts. And the method mentioned above can improve performance and design efficiency of NC machine tool more.

Third, according virtual modular design technology, the optimization design principle of partial character of large parts in NC machine tool is described. Here, the

layout of the vertical CNC center is analyzed firstly, and the dynamic/static characteristic analysis of main components and whole CNC center are done using the finite element software such as Hypermesh and ANSYS. Furthermore, this section investigates the influence of ribbed plate unit structure and craftwork holes of framework on large parts performance, and takes the optimization of the square box and worktable of the pentahedron CNC center as an example to show the effectiveness of optimization design principle of partial character of large parts.

Finally, the preliminary study of thermal characteristics analysis of spindle system of machine tool is carried out, using the example of milling head in pentahedron CNC center. Then, the main conclusions of this thesis are summarized, and more research assumptions are brought forward.

**Key Words:** Machine Tool; Dynamic Design; Composite Optimization; Modularization; Finite Element

## 目 录

<b>第一章 绪 论</b>	<b>1</b>
1.1 本课题的国内外研究状况	1
1.2 本课题的选题依据及来源	4
1.2.1 选题依据	4
1.2.2 课题的来源	5
1.3 人工神经网络及遗传算法在机械动态设计中的应用	5
1.3.1 人工神经网络及在机械动态设计中的应用	5
1.3.2 遗传算法在结构优化中的应用	6
1.4 论文的主要研究内容	7
<b>第二章 机床大件结构动态设计与复合优化方法研究</b>	<b>9</b>
2.1 机械结构静、动态设计原理与机床结构动态优化设计	9
2.1.1 机械结构静、动态设计原理	9
2.1.2 机床结构动态优化设计	10
2.2 基于神经网络与遗传算法的机床大件间关键尺寸协调优化	11
2.2.1 基于神经网络模型分析的特点	12
2.2.2 基于神经网络的结构智能优化的实现	13
2.3 基于虚拟模块的机械结构动态设计关键技术	15
2.3.1 虚拟模块的划分与无缝连接技术	15
2.3.2 有限元模型的建立	17
2.3.3 基于虚拟模块的机床大件结构动态优化设计	20
2.4 本章小结	21
<b>第三章 基于 BP—GA 的机床大件框结构关键尺寸复合优化</b>	<b>22</b>
3.1 神经网络样本的获取	23
3.1.1 参数化模型的建立	23
3.1.2 神经网络样本采集	25
3.2 BP 神经网络及 MATLAB 实现	26
3.2.1 BP 神经网络原理	26

3.2.2	BP 神经网络的初始化	29
3.2.3	BP 神经网络的 MATLAB 实现	30
3.3	遗传优化算法	32
3.4	立柱与主轴箱结构关键尺寸的复合优化	35
3.4.1	优化数学模型	35
3.4.2	基于 MATLAB 的 BP-GA 优化程序实现	36
3.5	本章小结	39
第四章	基于虚拟模块的五面体加工中心建模、分析与优化	40
4.1	龙门式五面体加工中心布局、结构特点	41
4.2	五面体加工中心有限元建模	41
4.2.1	五面体加工中心整机与零、部件 CAD 建模	41
4.2.2	五面体加工中心有限元模型的建立	43
4.3	五面体加工中心静、动态特性分析	44
4.3.1	基于有限元分析软件的机床静、动态特性分析实现	44
4.3.2	五面体加工中心整机及主要部件静、动态特性分析	50
4.4	基于虚拟模块大件结构动态优化设计	52
4.4.1	元结构对大件性能的影响	52
4.4.2	框结构大件性能的影响	53
4.5	方箱结构动态优化设计	54
4.5.1	方箱结构布局分析	54
4.5.2	方箱结构优化改进	55
4.6	工作台结构动态优化设计	58
4.7	本章小结	59
第五章	五面体加工中心铣头体热特性研究	61
5.1	传热学基础	61
5.1.1	热传递的三种基本方式	61
5.1.2	温度场与温度梯度	63
5.1.3	边界条件	64
5.2	温度场的有限元法	66

5.2.1 温度场有限元法的基本思想.....	66
5.2.2 温度场离散化.....	67
5.2.3 温度场有限元法求解步骤.....	67
<b>5.3 主轴系统发热量计算及热性能系数确定.....</b>	<b>69</b>
5.3.1 主轴系统热源与发热量计算.....	69
5.3.2 主轴系统热性能系数确定.....	70
<b>5.4 五面体加工中心铣头体温度场分析.....</b>	<b>72</b>
<b>5.5 五面体加工中心铣头体热-力结构耦合分析.....</b>	<b>73</b>
<b>5.6 本章小结.....</b>	<b>74</b>
<b>第六章 总结与展望.....</b>	<b>75</b>
6.1 总结.....	75
6.2 展望.....	76
<b>参考文献.....</b>	<b>75</b>
<b>附录.....</b>	<b>79</b>
<b>致谢.....</b>	<b>89</b>
<b>攻读学位期间发表的论文目录.....</b>	<b>91</b>

厦门大学博硕士论文摘要库

## CONTENTS

<b>Chapter 1 Preface .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Domestic and international situation of this lesson .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Choice and source of this lesson .....</b>	<b>4</b>
1.2.1 Basis of choice .....	4
1.2.2 Source of this lesson .....	5
<b>1.3 ANN and GA applied in mechanical dynamic design .....</b>	<b>5</b>
1.3.1 ANN applied in mechanical dynamic design .....	5
1.3.2 Genetic algorithm applied in structural optimization design .....	6
<b>1.4 The main work in this paper .....</b>	<b>7</b>
<b>Chapter 2 Dynamic design and composite optimization method .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Static/dynamic analysis and dynamic design of machine tool .....</b>	<b>9</b>
2.1.1 The principle of static/dynamic analysis .....	9
2.1.2 Dynamic optimization design of machine tool .....	10
<b>2.2 Coordination and optimization of structure based on BP-GA .....</b>	<b>11</b>
2.2.1 The characteristics of analysis based on neural network model .....	12
2.2.2 Structural intelligent optimum realization .....	13
<b>2.3 Dynamic design technique .....</b>	<b>15</b>
2.3.1 Virtual module partition and seamless connection .....	15
2.3.2 FEM model foundation .....	17
2.3.3 Dynamic optimization design of structural elements .....	20
<b>2.4 Brief summary .....</b>	<b>21</b>
<b>Chapter 3 Structural elements optimization based on BP-GA .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1 Ingathering of ANN samples .....</b>	<b>23</b>
3.1.1 Parameterized model foundation .....	23
3.1.2 Ingathering of ANN samples .....	25
<b>3.2 BP neural network and matlab realization .....</b>	<b>26</b>
3.2.1 The principle of BP neural network .....	26

3.2.2	BP neural network initialization.....	29
3.2.3	BP neural network matlab realization.....	30
<b>3.3</b>	<b>Genetic Optimization Algorithm.....</b>	<b>32</b>
<b>3.4</b>	<b>The complex optimization of the column and spindle box.....</b>	<b>35</b>
3.4.1	Optimization mathematical model.....	35
3.4.2	BP-GA program realization based on matlab.....	36
<b>3.5</b>	<b>Brief summary .....</b>	<b>39</b>
<b>Chapter 4</b>	<b>Modeling ,analysis and optimization of machining center .....</b>	<b>40</b>
<b>4.1</b>	<b>The layout characteristics of gantry machining center.....</b>	<b>41</b>
<b>4.2</b>	<b>Finite element model for the pentahedron machining center .....</b>	<b>41</b>
4.2.1	CAD model foundation.....	41
4.2.2	Finite element model foundation.....	43
<b>4.3</b>	<b>Static/Dynamic characteristic analysis of the machining center .....</b>	<b>44</b>
4.3.1	Static/Dynamic characteristic analysis realization.....	44
4.3.2	Static/Dynamic characteristic analysis of the machining center .....	50
<b>4.4</b>	<b>Structural dynamic optimization based on virtual module .....</b>	<b>52</b>
4.4.1	The effect of unit structure on structural elements performance.....	52
4.4.2	The effect of frame structure on structural elements performance .....	53
<b>4.5</b>	<b>Dynamic optimal design of the square box .....</b>	<b>54</b>
4.5.1	The layout analysis of the square box.....	54
4.5.2	Optimization and improvement of the square box .....	55
<b>4.6</b>	<b>Dynamic optimal design of the worktable.....</b>	<b>58</b>
<b>4.7</b>	<b>Brief summary .....</b>	<b>59</b>
<b>Chapter 5</b>	<b>Research on the characteristics of the milling head .....</b>	<b>61</b>
<b>5.1</b>	<b>Heat transfer theory.....</b>	<b>61</b>
5.1.1	Three base forms of heat transfer .....	61
5.1.2	Temperature field and thermal gradient.....	63
5.1.3	Boundary conditions.....	64
<b>5.2</b>	<b>Finite element methods in temperature field .....</b>	<b>66</b>



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库